

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：12605

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26889026

研究課題名(和文) 熟練オペレータの思考プロセスに基づくデータ指向型制御系の設計

研究課題名(英文) Design of a data-oriented controller based on skilled workers' thinking process

研究代表者

脇谷 伸 (Wakitani, Shin)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：00728818

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、熟練オペレータのパラメータ調整プロセスをデータ指向型制御系設計の観点から明らかにし、制御分野で指摘されている理論と応用のギャップを埋める一制御系設計法を示すことを目的として研究を行った。研究成果として エキスパート制御系の設計手法の確立、相関係数を用いたデータ駆動型制御系設計手法の提案があげられる。これらの成果は計4回の学会発表で発表を行い、内2件で学会発表賞を受賞した。さらに、現在2本の論文を投稿中であり、すでに1件が条件付採録との判定を受けている。

研究成果の概要(英文)：Purposes of this research are to clarify tuning process of skilled workers from the view point of a data-oriented controller design approach and to establish a controller design method that can fill in the gaps between a theory and an application based on the knowledge. There are two research outcomes: (1) established a design method of an expert controller that reflects control skills of skilled workers, (2) proposed a data-driven controller based on correlation coefficients. These outcomes are presented at 4 conferences and two of them are awarded prizes. Moreover, two journal papers have been submitted, and one of them is judged as conditional acceptance paper.

研究分野：制御工学

キーワード：制御工学 熟練技術者 PID制御 データベース

### 1. 研究開始当初の背景

制御工学分野においては、理論的な研究が進む一方で、産業現場の制御パラメータの多くがオペレータの経験則やノウハウに基づいて決定されているという現状がある。これは、実際の産業現場には数式で記述（モデリング）しきれない要因が多数存在し、理論と応用にギャップが生じるために、多くの理論的研究が適用できないことに起因する。このような背景の中、近年では、実験データからモデルを介さず直接的に制御パラメータを調整する、モデルフリー型制御系設計法が注目を集めている。

産業現場においては、同型の生産機器であっても、操業条件（場所・気候・材料など）や制御仕様（目標生産量など）が異なれば制御パラメータも変更しなければならない。熟練のオペレータは、過去の膨大な経験から得られたノウハウや学習の経験を通して制御パラメータ調整を行っているが、産業界においては熟練技術者の不足による、その技術の伝承が重要な課題となっていた。

### 2. 研究の目的

熟練オペレータはデータベース（過去の経験やノウハウなどを蓄積）を有する、一種の熟練された「データ指向型制御系」とみなすことができる（図1）。本研究の目的は、熟練オペレータのパラメータ調整における思考プロセスをデータ指向型制御系設計の観点から明らかにし、今後の制御系設計における理論と応用のギャップを埋めるための一設計指針を示すことである。

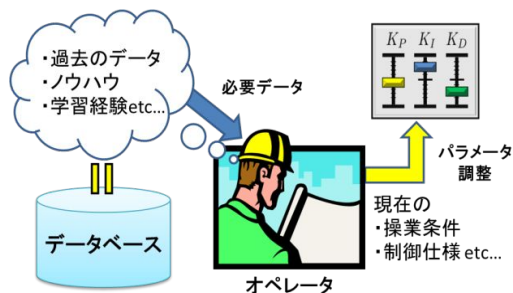


図1 オペレータのパラメータ調整プロセス

### 3. 研究の方法

本研究では、実験装置の製作、データベースを用いた熟練技術者調整アルゴリズムの提案、熟練者の思考プロセスの分析と実装化アルゴリズムの検討、学会発表および論文執筆を中心として研究を進める。具体的には次のとおりである。

#### ・実験装置の製作

プロセス実験装置の一種である射出成型器実験装置を製作し、熟練者によるデータを取得できるようにする。

#### ・データベースを用いた熟練技術者調整アルゴリズムの提案

複数熟練者の技能データとデータベースを融合した新しいPID調節器のアルゴリズムを構築する。

#### ・熟練者の思考プロセスの分析と実装化アルゴリズムの検討

実験の際に得られたデータを基に、熟練者がどのようにPIDパラメータ調整を行っているかについて相関解析に基づく分析を行い、熟練技術者の思考プロセスについて定量的に評価を行う。また、これらの結果を提案したアルゴリズムと融合することで、熟練技術者の指向プロセスに基づく制御系を設計する。

#### ・学会発表および論文執筆

これまでの成果について、国内外にて学会発表を行うとともに、学会にて得られた意見などを踏まえて論文を執筆し学会誌への投稿を行う。

### 4. 研究成果

#### 1. エキスパート制御系の提案

複数の熟練者による操業データをデータベースに蓄積し、その技能をPID制御器の制御パラメータとして表現するエキスパート制御系を提案した（図2）。

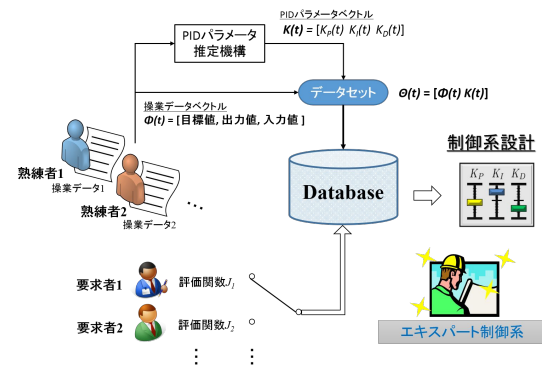


図2 エキスパート制御系

エキスパート制御系では、熟練技術者の制御によって得られた操業データベクトルと、熟練技術者をPIDコントローラと見なしたときに推定されるPIDパラメータをデータセットとして熟練者データベースに蓄積する。操業中は、要求者が評価関数 $J_n$ を設定し、この評価関数 $J_n$ を最小化（あるいは最大化）するようなPIDパラメータを熟練者データベースに基づいて算出することで、所望の制御性能を達成する。提案手法では、図2のように、ある時刻において要求者が変わり、評価関数が $J_1$ から $J_2$ に変更された場合、その要求を満足するPIDパラメータを、データベース内の熟練者データから新たに決定することができる。したがって、あらかじめ、様々な技能

を持つ熟練技術者の操業データをデータベースに格納することで、種々の要求に対応できるエキスパート制御系が構築できる。

本研究の成果は2014年12月と2015年4月に開催された電気学会制御技術委員会主催の制御研究会で発表し、それぞれ、技術委員会奨励賞および研究会奨励賞を受賞した。また、2015年5月にマレーシアにて開催された国際会議 The 10th Asian Control Conference 2015 (ASCC 2015)でも発表を行った。さらに、これらの内容をまとめて、現在、国際学術誌に投稿中である。すでに第1回目の査読が終了し、条件付採録の評価を得たため、現在、再投稿に向けて論文を修正中である。

### II: 相関係数を用いたデータ駆動型制御系設計手法の提案

熟練オペレータのパラメータ調整プロセスを明らかにするにあたり、データベースに蓄えられた大量のセンサ情報の中から、熟練者がPIDパラメータを決定するために必要な情報のみを抽出するアルゴリズムを構築する必要がある。この抽出アルゴリズムを確立するための研究として、相関係数を用いた新しいデータ抽出アルゴリズムを提案した(図3)。

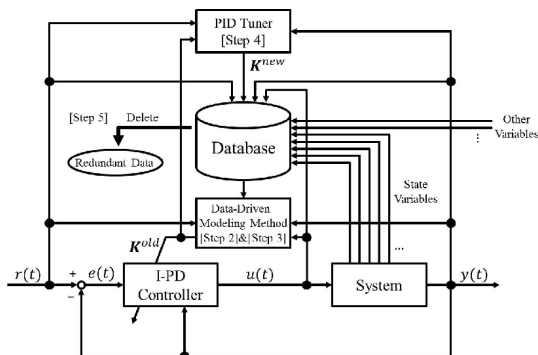


図3 相関係数を考慮したデータ駆動型制御系

この制御系では、まず、システムやその他の周辺環境をセンシングした多数の項目で構成されるデータベースを構築する。そして、このデータベースに基づきシステム出力が参照出力に追従するようにPIDゲインを調整する。しかしながら、データベースの項目の中にはシステム出力と関係のない(無相関)ものも含まれている可能性があるため、PIDゲインの計算にあたり、システム出力と無相関な項目の影響を取り除く必要がある。そこで、データベース内の各項目と出力変数との相関係数を計算し、得られた値の絶対値を重みとして各項目の値に乘じることにより、PIDゲインの算出において、出力と無相関の変数の影響を軽減することが可能となる。本手法の有効性は数値シミュレーションによって確認を行い、従来のデータ駆動型制御系に対して良好な制御結果を得ることができ

ることを確認した。

この制御系設計で得られた知見は、オペレータがPIDパラメータを調整する際に、どの変数に着目しているかを知る重要な要素であるが本研究期間内には残念ながらこの点までを明らかにするには至らなかった。本研究成果も、現在、国際学術誌に投稿中である。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

{ 雑誌論文 } (計 0 件)

{ 学会発表 } (計 6 件)

[1] 菊池アレン裕助, 脇谷伸, 鄧明聡: 相関分析を用いたデータ駆動型制御系の設計, 電気学会制御研究会, 首都大学東京 秋葉原サテライトキャンパス(東京都千代田区), 2016年3月4日

[2] 松森洸樹, 脇谷伸, 鄧明聡: 熟練技能に基づくエキスパート制御系の設計法とその適用に関する一考察, 電気学会制御研究会, 首都大学東京 秋葉原サテライトキャンパス(東京都千代田区), 2016年3月4日

[3] 脇谷伸, 鄧明聡: 熟練技術者の操業データに基づくデータ指向型エキスパート制御系の設計, 電気学会 C 部門大会, 長崎大学(長崎市), 2015年8月26日-8月29日

[4] Shin Wakitani, Mingcong Deng: Design of a Data-Driven Expert Controller, The 10th Asian Control Conference 2015, Kota Kinabalu (Malaysia), May 31 - June 3 (2015).

[5] 脇谷伸, 鄧明聡: 制御性能評価に基づくデータ駆動型エキスパート制御系の設計, 電気学会制御研究会, 三重大学(三重県津市), 2015年4月17日

[6] 脇谷伸: 操業データに基づくエキスパート制御系の設計に関する考察, 電気学会制御研究会, 東京トラック事業保険会館(東京都千代田区), 2014年12月18日

{ 図書 } (計 0 件)

{ その他 }  
ホームページ等  
なし

### 6. 研究組織

(1) 研究代表者  
脇谷伸 (WAKITANI, Shin)

東京農工大学・大学院工学研究院・助教  
研究者番号：00728818

(2)研究分担者  
なし

(3)連携研究者  
なし